Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen.
Vorstand: Prof. Dr. H. Peckert

Volumenveränderungen von Wachs und Einbettungsmassen in Bezug auf das Goldgußverfahren

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Zahnheilkunde
einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt
von

Wolf Lutz
Zahnarzt
aus Wollmatingen am Bodensee

1932

Dekan: Prof. Dr. Haffner
Referent: Prof. Dr. Wannenmacher

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Dem heute üblichen Goldgußverfahren, wie es hauptsächlich zur Herstellung von Goldeinlagefüllungen in der Zahnheilkunde Anwendung findet, haften immer noch wesentliche Mängel an. Da die zu diesem Verfahren verwendeten Materialien nicht temperaturbeständig sind, ist es nicht verwunderlich, wenn dieselben auf Temperatureinflüsse je nach ihrer Beschaffenheit und Zusammensetzung verschieden reagieren. Für den praktischen Zahnarzt ist es nun von großer Wichtigkeit, diese Veränderungen zu kennen, um durch eine entsprechende Kompensation trotzdem einen guten Erfolg zu erzielen. Gerade bei den erwähnten Goldgußfüllungen ist ein guter Randschluß von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Die Erfahrung zeigt, daß nicht exakt passende Einlagen fast regelmäßig die Ursache für sekundäre Karies abgeben. Die Folge ist, daß die Einlage illusorisch wird; sie muß entfernt und eine neue angefertigt werden, wenn sich eine solche überhaupt anbringen läßt, und der Zahn nicht schon soweit zerstört ist, daß eine neue Einlage keinen genügenden Halt mehr findet.

Der Zweck und das Ziel vorliegender Arbeit ist es nun, die bei dem üblichen Gußverfahren vorkommenden Fehlerquellen zu untersuchen und zu prüfen; und zwar soll hier ausschließlich nach denjenigen Fehlern gefahndet werden, die sich bei der Verarbeitung von Wachs und Einbettungsmassen ergeben.

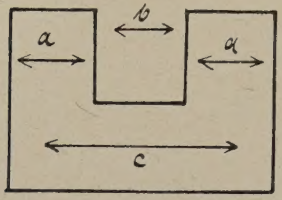
Schon mit dem Aufkommen des Goldgußverfahrens kam die Erkenntnis, daß bei der Bearbeitung von Wachs und Einbettungsmassen Formveränderungen auftreten, die eine nachteilige Wirkung auf die endgültige Gußform ausüben. Einer der ersten, die die Einbettungsmassen auf ihre Formbeständigkeit hin untersuchten, war W. A. Price. Er prüfte die erstarrten Massen 30 Minuten nach dem Anrühren, erhitzte sie dann auf 560° C und bestimmte ihre Ausdehnung oder Zusammenziehung. Seine Versuche führten zur Feststellung folgender Tatsachen:

1. Alle untersuchten Präparate dehnen sich beim Erstarren ein wenig aus (0,17 bis 0,18).
2. Beim Erhitzen verhalten sich die Einbettungen verschieden. Die 1. Gruppe dehnt sich bis zu 560° C immer weiter aus und erreicht 0,50 bis 0,85. Die Körper der zweiten Gruppe

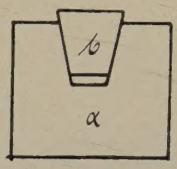
erreichen ihre größte Ausdehnung schon bei einer Temperatur von 260° C und ziehen sich von da ab wieder zusammen.

Daß diese Volumenveränderungen nicht ohne Einfluß auf die Form der Höhle im Innern der Einbettung bleiben, ist einleuchtend. Price kam zu folgendem Resultat: „Die Gestalt der Gußform ändert sich in der erhitzten homogenen Einbettung proportional mit der Änderung der äußeren Dimensionen unter Voraussetzung gleichmäßigen, langsamen Erhitzens und genügend starker Wände, um das „Werfen" zu verhindern."

Smreker hat diesen Vorgang durch folgende Überlegung noch besser veranschaulicht:



Da a kleiner wird, wird b scheinbar größer; das ist jedoch nicht der Fall, da auch c kleiner wird. Und rein empirisch zeigt folgender Versuch das gleiche:



Nach Erhitzen der Masse a geht der Konus b nur mehr zum Teil an seinen Platz.

Daraus geht hervor, daß die Gußform im Innern der Einbettungsmasse beim Erhitzen schrumpft, was von allergrößter Bedeutung für den Guß ist; der bei Nichtbeachtung dieses Vorganges kleiner wird als das Wachsmodell. Es muß also danach getrachtet werden, durch entsprechende Verarbeitung des Wachsmodells (Erwärmen) sein Volumen zu verändern und so einen Ausgleich zu erreichen.

Weitere Untersuchungen über Formveränderungen von Einbettungsmassen wurden von Solbrig angestellt. Als Versuchsmasse verwandte er Siliciumdioxyd (SiO_2) als Quarz und Feuerstein in pulverisierter Form oder auch als feiner Sand und glaubt bis zu einem hohen Hitzegrad, weit über den Schmelzpunkt des Goldes, „keinerlei nachteilige Veränderungen" feststellen zu können, eher eine geringe Ausdehnung. Anders wird das, wenn Gips zugesetzt wird. Dann wird die Expansion desto größer, je mehr Gips beigemengt wird. Ebenso hängt nach Solbrig die Schrumpfung sowohl von der Natur als besonders von dem Prozentsatz des Gipses, wie auch von der Höhe der Temperatur ab. Folgende Tabelle von Solbrig möge das veranschaulichen:

Schrumpfung von Einbettungsmassen nach Ausbrennen des Wachses.

Teile Sand	Teile Gips	Schrumpfung in %
3	1	0,4
2	1	0,6
1	1	0,8
1	2	0,9
1	3	1,2

Dagegen stellt Smreker eine lineare Verkürzung von nur 0,1 bis 0,2 mm auf 1 cm fest.

Daß die Einbettungsmasse beim Erhärten sich ausdehnt, hat Siong Han dadurch nachgewiesen, daß er einen dünnen Glaszylinder mit Einbettungsmasse füllte. Nach kurzer Zeit zersprang der Zylinder. Nach Glinger und Steubach beträgt die Expansion bei Stuckgips 1%, und zwar soll die größte Expansion während der ersten 10 Minuten nach dem Anrühren erfolgen. Eine Verminderung der Ausdehnung kann durch Zusatz von schwefelsaurem Kali erzielt werden.

Es ist verständlich, daß diese, wenn auch geringen Veränderungen der Einbettungsmassen ungünstig auf die Gußform wirken müssen. Es machte sich daher schon frühzeitig das Bestreben bemerkbar, weitere Fehlerquellen ausfindig zu machen bzw. die Formveränderungen des Wachses festzustellen, und da diese gerade im entgegengesetzten Sinne stattfanden, zur Kompensation zu verwenden.

Welcher Art diese Fehlerquellen beim Wachs (Modellierwachs) sind, hat Siong Han in klarer Weise definiert:

Formveränderungen von Wachseinlagen:

1. Solche, die auf Temperatureinflüsse zurückzuführen sind;
2. solche, die ihren Grund in der Elastizität des Wachses haben;
3. solche, die auf mechanischen Einwirkungen auf das Wachsmodell beruhen;
4. solche Einwirkungen, die durch die Adhäsion des Wachsmodells an den Kavitätenwänden beim Abdrucknehmen verursacht wurden.

Die Zusammensetzung der verschiedenen im Handel befindlichen Wachse ist sehr verschieden; zum Teil ist ihre Zusammensetzung auch nicht genau bekannt. Doch in der Hauptsache werden verschiedene Wachsarten (Paraffin, Stearin), feste Fette des Tier- und Pflanzenreichs, feste Fettsäuren und Harze verwendet. Reines Bienenwachs ist nur in Verbindung mit anderen Substanzen verwendbar.

Nach Solbrig erfahren Paraffine, die aus Kohlenwasserstoffen von ziemlich gleichen Schmelzpunkten bestehen, in der Wärme eine geringere Deformation als solche, die ein Gemisch von sehr harten und sehr weichen Komponenten darstellen.

Temperatureinflüsse machen sich auf verschiedene Art und Weise beim Modellierwachs bemerkbar. Einmal erleidet es beim Erwärmen auf die sogenannte Arbeitstemperatur eine Formveränderung von wesentlichem Ausmaß. Daß aber auch schon unter der obersten Grenze der Arbeitstemperatur Volumenveränderungen auftreten können, beweist der von Solbrig ausgeführte Versuch. Ein Stück Wachs wird durch Einstechen eines Drahtes so beschwert, daß es in kaltem Wasser eben zu Boden sinkt. Erwärmt man das Wasser um wenige Grade, steigt das Wachsstückchen in die Höhe, ein Beweis, daß das spezifische Gewicht des erwärmten Wachses geringer geworden ist, folglich sein Volumen sich vergrößert hat.

Im Munde des Patienten sinkt die Temperatur des Modellierwachses auf 37° C, was eine Kontraktion des Wachses zur Folge hat; daß dem so ist, lehrt die Tatsache, daß das Modell beweglich wird oder gar aus der Kavität herausfällt. Das tritt besonders dann ein, wenn das Modell, wie das häufig geschieht, mit kaltem Wasser bespritzt wird, um ein schnelleres Erhärten zu erreichen. Alkohol, Wasser, H_2O_2, die in Tropfenform dem Modell anhaften, entziehen diesem eine erhebliche Wärmemenge. Eine nicht unwesentliche Bedeutung spielt dabei die Isolation. Ohne Vaselineschicht soll nach Solbrig die Kontraktion bedeutend geringer sein. Auch die Dicke der Vaselineschicht ist maßgebend.

Ferner erleidet das Wachs eine Volumenveränderung, wenn es bei einer niedrigeren oder größeren Temperatur eingebettet wird, als es nach dem Entfernen aus dem Mund des Patienten hatte. Diese Formveränderungen werden in der Einbettungsmasse als Negativ festgehalten; ihre Ausdehnung hängt einmal von der Beschaffenheit des Wachses und dann vor allem von der Temperaturdifferenz ab. Solbrigs Versuche haben ergeben, daß bei einem Temperaturunterschied von 10° C die lineare Ausdehnung der verschiedenen Wachse zwischen 2,2 bis 11,6‰ schwankt; und bei einem Unterschied von 30° C haben sich manche um 31‰ ausgedehnt, während andere wieder nur 15,6‰ erreicht haben sollen. Weitere Versuche Solbrigs haben gezeigt, daß die Wachse sich schon bei Zimmertemperatur ausdehnen; und zwar bis zur oberen Arbeitsgrenze um 3,5%; nach Abkühlung soll eine lineare Veränderung von 4 bis 5% eingetreten sein. Diese hohen Zahlen sind wohl darauf zurückzuführen, daß die Wachse, die

Solbrig zu seinen Versuchen verwandte, viel weniger formbeständig waren als die heute gebräuchlichen Wachsarten.

Denn wenn er sagt, daß alle Modellierwachse in den Grenzen der für uns möglichen Temperatur sich um 3%, ja viele bedeutend mehr, ausdehnen, so trifft das bei den heute üblichen, verbesserten Wachsarten nicht mehr zu. Ähnliche Resultate wie Solbrig hat schon früher W. A. Price bekommen. Bei einer Abkühlung des Wachses von 36,6° auf 20° C stellte er eine Kontraktion bis zu 2,3% linear fest, je nach der Zusammensetzung des Wachses. Umgekehrt fand er nach dem Erwärmen von 20° C auf 50° C („soweit nicht ein Zerbröckeln und ein Zerfließen eintrat") eine Expansion bis zu 4,5%.

Tabelle nach W. A. Price veranschaulicht die Expansion der verschiedenen Wachsarten bei den Grenztemperaturen der Verarbeitung:

Wachs	Grenztemperaturen der Verarbeitung		Ausdehnung von 20° C bis Minimum in %	Ausdehnung von 20° C bis Maximum in %
Standard für Einlagewachs .	43	57	1,12	3,7
Cleveland Dental	43	53	1,20	3,47
Klewis	46	59	1,30	2,90
S. S. White schwarz	46	53	2,05	3,50
Kerr	42	52	1,06	2,43
Consolidated	46	55	1,50	2,76
Carelks	44	54	1,25	2,31
Bödecker	38	54	0,49	1,26
Sekurity	44	54	1,50	2,89
Bienenwachs	34	58	0,50	3,25
Taggarts grün	40	54	1,10	2,10
van Horn	44	54	1,24	2,94
Paraffin	38	48	1,06	1,50
Karnauba	40	50	0,15	1,35
Ceresin	30	45	0,72	1,42
Stearin	40	50	1,06	1,90

Van Horn hat die Volumenveränderungen bei verschiedenen Temperaturen untersucht und gefunden, daß der Ausdehnungskoeffizient bis zu 3,1% beträgt. Doch eine konstante Zahl läßt sich deswegen nicht feststellen, weil der Ausdehnungskoeffizient nicht proportional mit der Höhe der Temperatur wächst. Um die Volumenveränderung der Wachseinlage durch Abkühlung von der Erstarrungstemperatur bis zur Zimmertemperatur auszugleichen, empfiehlt van Horn die Wachseinlage nach dem Herausnehmen aus der Kavität in einem Wasserbad auf 48° C zu erwärmen und diese Temperatur auch während des Einbettens zu erhalten. Smreker sucht dieses Ziel dadurch zu erreichen, daß er den beiderseits offenen Gußzylinderring wasserdicht in Kofferdam einbindet und ihn in Wasser von der entsprechenden Temperatur legt.

Siong Han erwärmt nur auf 37° C, um ein Verbiegen der Wachsform zu vermeiden. Dieses Verbiegen beruht auf der Elastizität des Wachses, welche eine sehr unangenehme Eigenschaft desselben ist. Am deutlichsten läßt sich die Elastizität des Wachses durch Wachsringe, die an einer Stelle durchschnitten werden, nachweisen, wie es Solbrig schon ausgeführt hat. Nach Erwärmen der Ringe oder bei längerem Zuwarten auch schon bei Zimmertemperatur biegen sich die Ringe (am meisten die dünnen) auf; z. B. bei 10 cm Länge um 12 bis 23 mm.

Von dieser gewöhnlichen Elastizität ist die sogenannte latente Elastizität zu unterscheiden. Beispiel: Ein auf irgendeine Weise deformiertes Stück Wachs sucht jeweils in seine alte Lage zurückzukehren. Es ist dies so zu erklären, daß durch mechanischen Einfluß (Druck, Zug, Biegen, Kneten) bei Arbeitstemperatur eine Molekularverschiebung im Wachs eintritt; bei höherer Temperatur suchen die Moleküle wieder in ihre alte Lage zurückzukehren, d. h. die latente Elastizität wird frei, und es erfolgt eine Ausdehnung oder nach Zug eine Kontraktion des Wachses.

Bei Modellen für Gußplatten kann dieses Aufbiegen eine sehr nachteilige Wirkung haben; bedingt sie doch ein Abstehen der fertigen Goldplatte. Vermeiden läßt sich die latente Elastizität durch Erwärmen des Modells auf die höchste Arbeitsgrenze im erzwungenen Zustand. Dadurch tritt eine Neuordnung der Moleküle ein, so daß sich das Modell nicht mehr verformen kann.

Van Horn will das Kneten und Biegen des Wachses dadurch vermeiden, daß er fertig gegossene Modelle für Einlagefüllungen verwendet.

Andere Autoren schlagen vor, das Wachs direkt in die Kavität einzuschmelzen; doch dürfte das für den Patienten weniger angenehm sein; abgesehen von der Schwierigkeit, die diesem Verfahren anhaftet, wenn die Kavität in der oberen Molarengegend liegt. Einen weiteren Nachteil des Einschmelzens von flüssigem Wachs ist die Lunkerbildung. In der Mitte der gegossenen Einlage entsteht auf der Oberfläche eine Delle, die durch ungleichmäßige Abkühlung bewirkt wird und zu einer ungleichen Formveränderung führt. Die Lunkerbildung kann durch Einpressen von erweichtem, noch plastischem Wachs umgangen werden.

Solbrig empfiehlt durch Einführen eines heißen Instruments und durch Bespritzen oder Spülen der Wachseinlage mit heißem Wasser dieser die latente Elastizität zu nehmen und „alle vermeidlichen, mechanischen Einwirkungen auf das Modell zu unterlassen".

Smreker weicht von diesem Gebot erheblich ab. Es ist erstaunlich, was Smreker mit seinen Wachseinlagen vornimmt. Er spricht direkt von der Notwendigkeit, die Modelle vor dem Einbetten noch verschiedenen Behandlungen zu unterziehen:

„So ist mit Speichel und Blut verunreinigtes Wachs erst mit Wasser, dann mit Alkohol abzuwaschen, wodurch man einen rauhen Anflug an der Oberfläche des Goldes vermeidet. Bei ungenügender Vorwölbung des Berührungspunktes trägt man dort ein wenig geschmolzenes Wachs von niedrigem Schmelzpunkt mit einem Spatel oder Pinsel auf oder bringt ein kleines Kügelchen davon durch ein erwärmtes Instrument zum Schmelzen. Die häufigste Behandlung ist wohl das Eingraben von Unterschnitten. Sie sind später am Gold viel mühevoller anzubringen. Größere Wachseinlagen höhlt man gern aus, z. B. mittels Krachs Wachssauger. Dabei verhindert ab und zu darüberfließendes kaltes Wasser das Verbiegen der Einlage."

Alle diese Manipulationen müssen natürlich unterbleiben, wenn ein wirklich exakter Guß zustande kommen soll. Ist die Kavität richtig präpariert und ist beim Modellieren mit der nötigen Vorsicht vorgegangen worden, sind derartige Behandlungsweisen meistens überflüssig.

Siong Han weist besonders auf das Bearbeiten des Wachsmodells außerhalb der Kavität zum Zwecke der Goldersparnis hin, was als absolut abwegig zu betrachten sei.

Nach Wannenmacher ist es möglich, mit einem geeigneten Gußwachs, dessen Expansion 2,1% beträgt, die Kontraktion des Goldes auszugleichen. Diese angenehme Eigenschaft darf nicht durch die Elastizität des Wachses gestört werden. Es muß daher das Kneten und Drücken des Gußwachses möglichst unterbleiben.

Ebensowenig ist nicht jedem die Methode von Scheer zur Herstellung von Sattelinlays anzuraten. Scheer nimmt die noch warmen Wachsformen aus dem Mund der Patienten und legt sie in kaltes Wasser; die kalte Wachsform wird dann in der Mitte geteilt, und die beiden Teile werden wieder in den Mund des Patienten eingesetzt; dabei wird ein breiter Spalt sichtbar, der mit neuem Wachs ausgefüllt wird.

Von nicht richtig präparierten Kavitäten kann natürlich kein exaktes Modell genommen werden. Unter-sich-gehende Stellen müssen beseitigt werden. Vor

dem Modellieren mit Blauwachs wird daher am zweckmäßigsten mit Kerr- oder Stenzmasse ein provisorischer Abdruck von der Kavität genommen, um ein Verziehen gleich feststellen zu können.

Wird das Wachsmodell eingebettet, erleidet es durch die erstarrende und zugleich sich ausdehnende Einbettungsmasse bei Gebrauch eines Metallzylinders eine mechanische Einwirkung. Nach Siong Han soll sich nämlich durch den Metallring, auch wenn er oben und unten offen ist, die Einbettungsmasse nicht genügend ausdehnen können; die Folge ist, daß die Ausdehnung auch nach dem Zentrum hin erfolgt und so das Wachsmodell schädigt. Siong Han verwendet daher zur Einbettung keinen Metall- sondern einen Papiergußzylinder (Muffel). Damit und mit folgenden zwei Punkten will Siong Han einwandfreie Inlays (Sattel) erzielt haben:

1. Vaselineschicht,
2. Erwärmen nach van Horn (Wachsmodell auf 37° C),
3. Einbetten in Papierzylinder.

Um nach dem Einbetten thermische Insulte zu vermeiden, erwärmt Siong Han die Einbettungsmasse auf 43° C; die Muffel mit dem eingebetteten Modell befindet sich in einem ebenfalls auf 43° C erwärmten Raum. Nach einer halben Stunde erfolgt das Erhitzen im elektrischen Ofen auf 700° C.

Erwärmtes Modellierwachs hat die Eigenschaft an trockenen Kavitätenwänden haften zu bleiben, was auf seinen Gehalt an Harzen zurückzuführen ist. Diese Adhäsion kann leicht durch Überziehen der Kavitäteninnenfläche mit Vaseline oder Öl vermieden werden. Auch Speichel erfüllt den gleichen Zweck. Bei Sattelinlays verlangt Siong Han eine stärkere Vaselineschicht, und zwar an der distalen und an der mesialen Kavitätenwand; dagegen genügt bei einer richtig präparierten einfachen zentralen Kavität eine dünne Vaselineschicht.

Die Adhäsion wird nach Scheer begünstigt durch Erwärmen des Wachses über der Flamme; es verliert dadurch seinen Gehalt an Paraffinen, das sich verflüchtigt und die erwünschte Sprödigkeit und Zähigkeit des Modellierwachses vermindert. Scheer rät deshalb, das Gußwachs nur der trockenen Wärme auszusetzen.

Nachdem nun die verschiedenartigen Fehlerquellen bei der Verarbeitung von Wachs und Einbettungsmassen, sowie deren Vermeidung erörtert wurden, soll im folgenden im besonderen auf die thermischen Einwirkungen eingegangen werden.

Die Prüfkörper aus Wachs, die zu den Versuchen verwandt wurden, waren von annähernd der Größe, wie sie bei den üblichen Einlagefüllungen gewöhnlich vorkommen. Während Siong Han zu seinen Versuchen Prüfkörper aus Wachs von 1,5 cm Kantenlänge herstellte, hatten meine Prüfkörper folgende Ausmaße:

2 Würfel von 0,5 cm^2,
1 Stab von 1 cm Länge; 0,2 cm Breite,
1 Sattelinlay von 0,5 cm Länge und Breite,
Schenkelbreite je 1,5 mm; Schenkelweite 0,2 cm.

Alle Wachsprüfkörper hatten eine Höhe von 2 mm.

Es wurden die Volumenveränderungen bei drei verschiedenen Wachsarten geprüft:

1. Kerr-Wachs. 2. Harvard-Wachs. 3. Ramson- und Randolf-Wachs.

Die Wachskörper wurden in einer Präzisionsleere hergestellt, die Hohlräume von den oben angegebenen Maßen freiließ. Die Prüfkörper aus Einbettungs-

masse wurden mittels einer Metallform hergestellt, die aus zwei zerlegbaren Winkelstücken bestand. Die Metallform läßt Grund- und Deckfläche frei. Zur Herstellung der Würfel wurde sie auf eine plangeschliffene Glasplatte gelegt. Die Einbettungsmasse bestand nur aus Gips und feinpulverisiertem Quarzsand; alle übrigen Zutaten wurden weggelassen. Dagegen wurden verschiedene Mischungen vorgenommen, so daß einmal der Gips, das andere Mal der Sand überwog, oder das Mischungsverhältnis 1 : 1 war. Die einzelnen Mengen wurden genau abgewogen; damit war die Gewähr gegeben, daß Fehlerquellen von dieser Seite ausgeschlossen waren.

Neben dieser selbst hergestellten Einbettungsmasse fand eine fertige bei den Versuchen Verwendung, deren Zusammensetzung aber nicht bekanntgegeben worden ist.

Die durch die Metallform gewonnenen Würfel hatten die einheitliche Kantenlänge von 1 cm.

Gemessen wurden sämtliche Prüfkörper sofort nach der Herstellung, sowie nach dem Einwirken der verschiedenen Temperaturen mittels eines Meßmikroskopes.

Da die Versuche mit Wachs außerhalb des Mundes stattfanden, galt es nach Möglichkeit annähernd die gleichen Verhältnisse in bezug auf die Temperatur wie im Munde herzustellen. Die Leere für die Wachsformen wurde deshalb jedesmal vor dem Einpressen bzw. Einfließenlassen des Blauwachses auf Körpertemperatur erwärmt. Ferner wurde die Außen-(Zimmer-)temperatur berücksichtigt.

Jede Versuchsreihe wurde vier- bis fünfmal wiederholt und aus den Ergebnissen der Mittelwert errechnet. Als Isolation für die Prüfkörper aus Wachs diente eine dünne Schicht Vaseline. Diejenigen Versuchsreihen, die ohne Isolation durchgeführt wurden (um das gleich vorwegzunehmen) ergaben bei Erwärmung eine geringere Expansion als die mit Vaseline. Doch braucht meines Erachtens darauf nicht näher eingegangen zu werden, da aus den oben angeführten Gründen die Wachsmodelle stets isoliert werden.

Die Dauer der Temperatureinwirkung betrug bei den Wachsprüfkörpern bei jeder Versuchsreihe 30 Minuten. Eine kürzere Dauer hatte große Unregelmäßigkeiten der Formveränderungen zur Folge, so daß es nötig war, die Versuche so lange auszudehnen. Die Prüfkörper aus Einbettungsmasse wurden nach der ersten Messung vorsichtig vorgewärmt und dann auf etwa 400° C erhitzt (418° C Schmelzpunkt des Zinks) und wieder gemessen. Darauf wurden sie sofort auf etwa 1000° C erhitzt (Schmelzpunkt des dazu verwendeten Goldes 995° C) und die letzte Messung vorgenommen.

Es folgen nun die Expansionswerte der Wachsprüfkörper bei Erwärmung.

1. Versuchsreihe.

Kerr	Erwärmung	Dauer der Erwärmung	lineare Expansion	kubische Expansion
Würfel	von 10° auf 40°	30 Minuten	0,58%	1,74%
Würfel	von 20° auf 50°	30 Minuten	0,96%	2,88%
Stab	von 20° auf 40°	30 Minuten	0,52%	1,56%
Sattel-Breite	von 20° auf 40°	30 Minuten	0,13%	0,39%
Inlay-Weite	von 20° auf 40°	30 Minuten	1,85%	5,55%

Für die Würfel wurden die Versuche bei zwei verschiedenen Temperaturen ausgeführt. Wie die Tabelle zeigt, ist bei der zweiten Versuchsreihe die Expansion bedeutend größer. Es ist also anzunehmen, daß erst bei einer Erwärmung gegen 50° C eine so starke Ausdehnung erfolgt.

Ganz enorm ist die Expansion beim Sattelinlay bzw. dessen Schenkelweite. Wir haben es hier jedoch mit einer Dehnung im Sinne einer Verbiegung (ungleichmäßige Formveränderung) zu tun. Diese Werte können also nicht direkt mit den vorhergehenden verglichen werden.

2. Versuchsreihe.

Harward	Erwärmung	Dauer der Erwärmung	lineare Expansion	kubische Expansion
Würfel	von 10° auf 40°	30 Minuten	0,44%	1,32%
Würfel	von 0° auf 40°	30 Minuten	0,36%	1,08%
Stab	von 20° auf 40°	30 Minuten	0,44%	1,32%
Sattel-Breite	von 20° auf 40°	30 Minuten	0,1 %	0,3 %
Inlay-Weite	von 20° auf 40°	30 Minuten	1,56%	4,68%

Beim Harvardwachs haben wir für die Würfel sowie für den Stab und die Sattelinlaybreite geringere Ausdehnungswerte als beim Kerrwachs. Auch die Dehnung der Schenkel der Sattelinlays ist nicht so groß wie die des Kerrwachses.

3. Versuchsreihe.

Ramson und Randolf	Erwärmung	Dauer der Erwärmung	lineare Expansion	kubische Expansion
Würfel	von 10° auf 40°	30 Minuten	0,6 %	1,8 %
Würfel	von 20° auf 50°	30 Minuten	0,46%	1,38%
Stab	von 20° auf 40°	30 Minuten	0,44%	1,32%
Sattel-Breite	von 20° auf 40°	30 Minuten	0,04%	0,12%
Inlay-Weite	von 20° auf 40°	30 Minuten	1,22%	3,60%

Die Würfel des Randolfwachses weisen wieder eine stärkere Expansion auf. Dagegen sind die übrigen Werte z. T. wie beim Kerrwachs (Stab), z. T. kleiner als die Werte der beiden anderen Wachsarten.

Ergebnisse der Versuche bei Abkühlung der Prüfkörper:

4. Versuchsreihe.

Kerr	Abkühlung	Dauer der Abkühlung	lineare Kontraktion	kubische Kontraktion
Würfel	von 20° auf 10° C	30 Minuten	0,24%	0,72%
Würfel	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,3 %	0,9 %
Stab	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,57%	1,59%
Sattel-Breite	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,3 %	0,9 %
			lineare Expansion	kubische Expansion
Inlay-Weite	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,4%	1,2%

Bei Abkühlung der Kerrwachsprüfkörper zeigt sich eine geringe Volumenveränderung. Auffallend ist das Verhalten der Schenkel des Sattelinlays. Statt zu kontrahieren, wie zu erwarten wäre, dehnen sich dieselben etwas aus. Dies ist wohl auf die Kontraktion der Inlaybreite zurückzuführen, infolgedessen die Schenkel sich dehnen müssen.

5. Versuchsreihe.

Harward	Abkühlung	Dauer der Abkühlung	lineare Kontraktion	kubische Kontraktion
Würfel	von 20° auf 10° C	30 Minuten	0,26%	0,78%
Würfel	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,52%	1,56%
Stab	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,38%	1,14%
Sattel-Breite	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,18%	0,54%
			lineare Expansion	kubische Expansion
Inlay-Weite	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,52%	1,56%

Das Harvardwachs zeigt bei Abkühlung ähnliche Werte wie das Kerrwachs; die Expansion der Schenkel ist etwas größer.

6. Versuchsreihe.

Ramson und Randolf	Abkühlung	Dauer der Abkühlung	lineare Kontraktion	kubische Kontraktion
Würfel	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,34%	1,02%
Würfel	von 20° auf 10° C	30 Minuten	0,86%	2,58%
Stab	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,6%	1,8%
Sattel-Breite	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,27%	0,81%
			lineare Expansion	kubische Expansion
Inlay-Weite	von 20° auf 0° C	30 Minuten	0,6%	1,8%

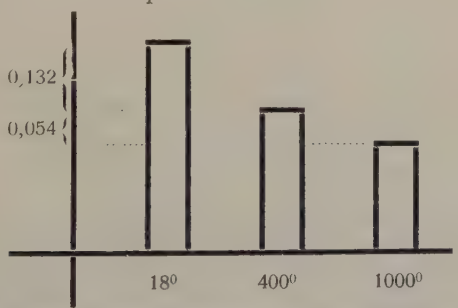
Am stärksten reagiert das Ramson- und Randolfwachs auf niedrige Temperaturen. Alle Werte sind gegenüber den vorhergehenden höher.

Einbettungsmassen.

Die Ergebnisse für die Formveränderungen der Prüfkörper aus Einbettungsmasse sind schematisch dargestellt. Dabei bedeuten die Zahlen an den Koordinaten die Masse der Verkürzung in Millimeter oder auch, da die Würfel eine Kantenlänge von 1 cm hatten, in Prozenten. Die linearen Verkürzungen scheinen gering zu sein; doch anschaulicher wird das Resultat, wenn man die gesamte und zugleich kubische Verkürzung ins Auge faßt. Nun erkennt man, daß auch hier wesentliche Formveränderungen vorhanden sind.

1. Versuchsreihe.

Mischungsverhältnis von Gips und Sand = 1:1.

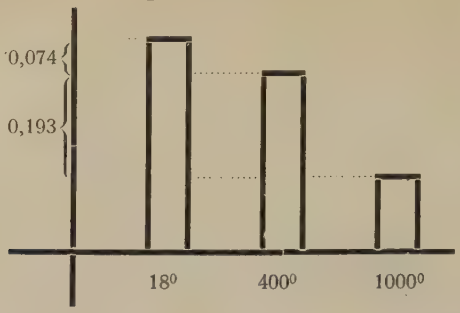


Die Kontraktion ist bei dieser Versuchsreihe beim Erhitzen auf 400° ziemlich stark. Dagegen von da ab wesentlich geringer.

Gesamtverkürzung in Prozent: 0,558%.

2. Versuchsreihe.

Mischungsverhältnis von Gips und Sand = 0,75:0,25.

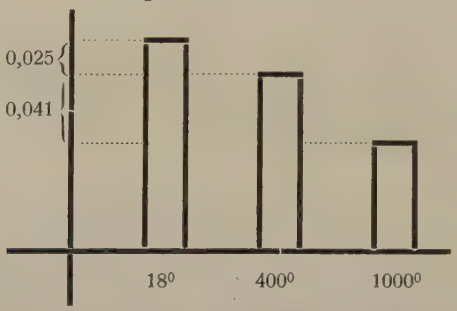


Bei dieser Masse ist das Verhältnis annähernd entgegengesetzt. Zuerst eine schwache, dann eine stärkere Verkürzung.

Gesamtverkürzung: 0,801%.

3. Versuchsreihe.

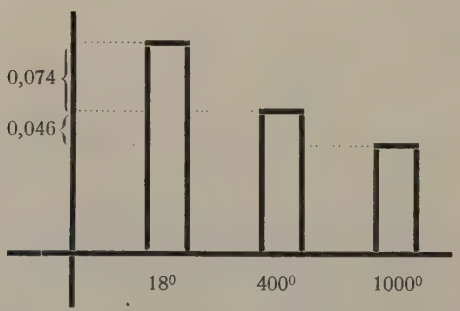
Mischungsverhältnis von Gips und Sand = 0,25:0,75.



Hier haben wir im ganzen eine sehr geringe Verkürzung von nur 0,198%.

4. Versuchsreihe.

Einbettungsmasse A.



Anfangs eine stärkere Kontraktion als beim Einwirken von sehr großer Hitze.
Gesamtverkürzung von 0,36%.

Der Vergleich der Kontraktionsmasse läßt den Schluß zu, daß die Schrumpfung derjenigen Einbettungsmassen am größten ist, die am meisten Gips ent-

halten, was sehr leicht aus dem Abbindungsvorgang desselben zu erklären ist. Nach Wannenmacher ist die Hydratation des Gipses abhängig von der Reinheit, Korngröße, Brennprozeß und den Lagerungsverhältnissen, sowie ob Leitungs- oder destilliertes Wasser zum Anrühren verwendet wurde. Die Lösung des Gipses soll mit Kontraktion verbunden sein; erst beim Ausscheiden des Dihydrates beginnt die Expansion, die während der ersten zehn Minuten am stärksten ist. Vermeiden läßt sich die Expansion teilweise durch Zusetzen von K_2SO_4, und nach Herrenknecht durch feines Mahlen und zweckmäßiges (gründliches) Anrühren, sowie durch Englischrot und Zusatz von NaCl. Alle diese Faktoren spielen nachher beim Erhitzen gleichfalls eine Rolle; je größer die Expansion bei der Hydratation war, desto größer wird bei der Einwirkung von starker Hitze die Kontraktion sein.

Nach diesen Überlegungen ist es verständlich, daß die Massen mit überwiegendem Anteil an Sand eine geringere Kontraktion aufweisen und deshalb zu gußtechnischen Zwecken am geeignetsten erscheinen. Demnach müßte bei vorliegenden Versuchen die dritte Einbettungsmasse die beste sein; denn sie zeigte tatsächlich die geringste Kontraktion. Doch eine derartig zusammengesetzte Einbettungsmasse hat andererseits wieder erhebliche Mängel, so daß sie für den Praktiker kaum in Frage kommt. Ein großer Nachteil ist der, daß sie durch den großen Anteil an Sand sehr langsam härtet, was z. B. für rasch zu erledigende Arbeiten lästig ist; dann ist die Masse aus dem gleichen Grunde wenig widerstandsfähig, was für den Guß nachteilig sein kann.

Das nächstbeste Resultat hat die Einbettungsmasse A. Sie muß den andern Massen unbedingt vorgezogen werden, da die Kontraktion der andern Versuchsmassen wesentlich größer ist. Es ist anzunehmen, daß die Einbettungsmasse A ähnlich der dritten Einbettungsmasse zusammengesetzt ist, doch etwas weniger Sand enthält oder noch einen Bestandteil, der die Kontraktion verringert.

Die Versuche der Prüfkörper aus Wachs haben gezeigt, daß die Formveränderungen bei den heute üblichen, guten Modellierwachsarten nicht mehr so groß sind wie bei denen, die Price, Solbrig und andere Autoren verwendet haben.

Wenn die von mir angegebenen Werte z. T. beträchtlich erscheinen, muß man doch bedenken, daß die Temperaturunterschiede beim praktischen Arbeitsgang nicht so groß sind, als bei den Versuchen angenommen wurde, sondern wesentlich geringer. So kommt eine Erwärmung der Modelle auf 40° C oder 50° C (bei der Verarbeitung) nach Herausnehmen aus dem Munde des Patienten ebensowenig vor wie eine Abkühlung auf 0° C. Die Versuche ergaben jedoch eindeutig, daß Temperaturschwankungen, auch wenn sie geringer sind als die angenommenen, formverändernden Einfluß auf das Modellierwachs ausüben. Die Versuche bestätigen die Forderungen Solbrigs, jede Nachbehandlung an den Modellen zu unterlassen, besonders das Abkühlen mit kaltem Wasser u. dgl. m. Eine Erwärmung, wie es Siong Han nach dem Rate van Horns getan hat, mag allenfalls bei Sattelinlays noch angebracht sein; doch die Beibehaltung der Temperatur von 37° C während des ganzen Arbeitsganges scheint mir für den Praktiker doch etwas zu umständlich, und wenn nicht ganz exakt durchgeführt, eher zum Nachteil (Verbiegen, Wirkung der latenten Elastizität) für den Guß zu sein. Zumal es sich gezeigt hat, daß bei Unterlassung dieser Vorbereitungen ebenfalls gut passende Einlagen erzielt wurden.

Zusammenfassung.

Die Versuche der Prüfkörper aus Wachs ergaben infolge der zweckmäßigeren Zusammensetzung desselben wesentlich geringere Volumenveränderungen, als die bisher bekannten.

Eine kurze Zusammenstellung möge das veranschaulichen.
Bei Erwärmung des Wachses von 20° auf 50° C stellte

Price eine Ausdehnung von 4,5% linear fest,
Solbrig eine Ausdehnung von 3,4% linear fest,
van Horn eine Ausdehnung von 3,1% linear fest.

Bei Abkühlung war die Kontraktion
von Price auf 2,3% linear festgestellt worden,
von Solbrig auf 4—5% linear festgestellt worden.

Demgegenüber stehen meine Resultate:

Bei Erwärmung von	Kerrwachs	ergibt sich eine Expansion von 0,7% lin.
„ „ „	Harward	„ „ „ „ „ 0,4% „
„ „ „	Ramson u. Randolf	„ „ „ „ „ 0,5% „
Bei Abkühlung von	Kerrwachs	ergibt sich eine Kontraktion v. 0,4% lin.
„ „ „	Harward	„ „ „ „ „ 0,4% „
„ „ „	Ramson u. Randolf	„ „ „ „ „ 0,65% „

Die von Solbrig und Smreker gefundenen Werte sollen wieder zum Vergleich vorangestellt werden.

Solbrig stellte nach Erhitzen (wobei die Höhe der Temperatur nicht angegeben wird) eine Schrumpfung fest bei einem Mischungsverhältnis
von Sand zum Gips wie 1 : 1 = 0,8%
von Sand zum Gips wie 1 : 3 = 1,2%
von Sand zum Gips wie 3 : 1 = 0,4%

Smreker dagegen fand nur eine lineare Verkürzung von 0,1 bis 0,2%.

Meine Werte gleichen mehr denen von Solbrig:

Bei einem Mischungsverhältnis

von Sand zu Gips =	1 : 1	resultierte eine Schrumpfung von 0,55%
von Sand zu Gips =	0,75 : 0,25	„ „ „ „ 0,2 %
von Sand zu Gips =	0,25 : 0,75	„ „ „ „ 0,8 %
Bei der Einbettungsmasse A		„ „ „ „ 0,36%

Diesen Veränderungen der Modelle aus Wachs und des Einbettungsmaterials steht die Kontraktion des Goldes gegenüber, die beim Erstarren desselben in Erscheinung tritt. Durch Versuche wurden Kontraktionswerte des Goldes von 0,5 bis 1,7% gefunden. Zusammen mit den Kontraktionswerten des Wachses und der Einbettungsmasse ergibt sich eine erhebliche Abweichung, z. B. von der gewünschten Gußfüllung. Von großem Vorteil wäre es demnach, wenn die Expansionsmöglichkeit des Wachses in der Weise geleitet und ausgenützt werden könnte, daß die Kontraktion des Goldes kompensiert wird.

Hierfür sind bereits Methoden ausgearbeitet worden, die unter dem Namen Expansionsguß veröffentlicht wurden. Inwieweit die Arbeitsverfahren diese Bedingungen erfüllen, kann hier nicht entschieden werden und soll weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Literaturverzeichnis.

Siong Han: Experimentelle Untersuchungen zur weiteren Klärung des Gußproblems. Deutsche Mschr. f. Zahnhlk., 1930.

van Horn: Formveränderungen von Modellierwachs und ihre Ursachen. D. Mschr. f. Zahnheilkunde, 1930.

Price, W. A.: Veränderungen von Modellierwachs und Einbettungsmasse beim Gußverfahren, 1922.

Scheer: Die Fehlerquellen beim Metalleinlageverfahren. D. Mschr. f. Zahnhlk., 1923, Nr. 41.

Smreker: Handbuch der Porzellanfüllungen und Goldeinlagen. 2. Teil.

Solbrig: Welche Faktoren bedingen die Formveränderungen in dem zahnärztlichen Gußverfahren? Vierteljschr. f. Zahnhlk., 1922, H. 1.

Wannenmacher: Materialkunde, Fortschr. d. Zahnhlk., 1927, 3,1.

Gips als Abdruckmittel mit besonderer Berücksichtigung seiner Expansion. D. Mschr. f. Zahnhlk., Jahrg. 43, 1925.

Anschrift: Wienenden b. Stuttgart.

Lebenslauf

Am 19.2.09 bin ich, Wolf Lutz, Sohn des Dr. Josef Lutz, in Wollmatingen (Baden) geboren.

Nach 4jährigem Besuch der Volksschule in Wollmatingen ging ich in das Gymnasium nach Konstanz, wo ich meine Reifeprüfung ablegte. Darauf widmete ich mich dem Studium der Zahnheilkunde in Tübingen und bestand daselbst das zahnärztliche Vorexamen. Das Sommer-Semester 1930 verbrachte ich in Bonn. Darauf kehrte ich wieder nach Tübingen zurück, wo ich im Herbst 1931 mein zahnärztliches Staatsexamen ablegte.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, auch an dieser Stelle meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Wannenmacher, für die Überlassung der Arbeit und seinen mir oft erteilten Rat meinen ergebensten Dank auszusprechen.